



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注

美国热处理BAC5617标准介绍

好富顿（上海）高级工业介质有限公司 (201613) 陈春怀

【摘要】 本文对热处理标准BAC5617的框架内容做了简要介绍，重点分析了其保证零件热处理后力学性能的举措。主要是：规范用材，限定尺寸保证完全淬透，指定淬火冷却介质以及最低回火温度。

BAC5617标准是继MIL-H-6875外，美国热处理界的一个重要标准，最早在1960年发布，其后在1998年进行了修订，在金属热处理领域具有广泛的影响。该标准对热处理的诸多环节都进行了详细的规定，有很多特色。本文先介绍该标准的框架结构，然后分析其在保证零件热处理后力学性能方面所采取的措施，供国内同行参考。

BAC5617引用和参考了多个标准，大致可以分为金属性能测试方面的标准（ASTM A370，ASTM E8，ASTM E10，ASTM E18，ASTM E92，ASTM E384），过程控制和样品准备方面的标准（BAC5621，BAC5722，BAC5751，BAC5771，MIL-STD-105），以及热处理要求的标准（MIL-H-6875）。

该标准覆盖了热处理全过程，分为13章共34页。框架内容主要有：

(1) 工艺材料控制 规定和引用了相关热处理用钢的材料规范。

(2) 设备设施控制 包括温度控制，以及加热炉、真空炉、淬火槽系统、清洗和工装吊具等方面的规定。

(3) 生产过程控制 包括操作程序，气氛控制，一般加热炉和真空炉的操作要求，预热、正火、淬火加热、淬火冷却及回火等方面的规定。还对一些特殊钢种如5Cr-1.5Mo以及D6AC的热处理过程做出了详细规定。

(4) 热处理质量控制和检验 包括脱碳等缺陷控制，力学性能的取样及试验方法等。

该标准的一个突出特点是力学性能导向，确保零件热处理后获得所需要的力学性能，这对可靠性设计和杜绝早期失效具有重要意义。为达这一目的，该标准主要采取了如下措施。

1. 对涉及的钢种质量提出了详细要求和规定

标准中涉及钢种23种，都有详细的成分等质量规定。具体钢种明细如下：1065/G10650，1070/G10700，1095/G10950，4037/G40370，4130/G41300，4135/G41350，4137/G41370，4140/G41400，4330M/K23080，4335M/K33517，4340/G43400，4340M/K44220，52100/G52986，6150/G61500，8630/G86300，8735/G8735，8740/G8740，HS-220/K33020，MN-Si-Ni/K32500，9Ni-4Co-20C/K91412，9Ni-4Co-3C/K91283，5Cr-1.3Mo/T20811，D6AC/K24728。

2. 对不同材料制作零件的尺寸上限做出规定，以确保淬透



部分规定如表1所示。通常淬透性（油淬临界直径）计算可以按照下式（1）～（3）进行。



$$D_{0c} = 3E_s - \sqrt{E_s} \quad (1)$$

$$E_s = 9 / (3 + G) [(M/9)^5 + 1] \quad (2)$$
$$[(1 + 155C^2) / (3 + 15C^2) - 3C]$$

$$M = 50Cr / (7 + Cr) + 3.3Mn \sqrt{1 + Mn} + 6Si / (3 + Si) + 1.4Ni \sqrt{1 + Ni} + 9(Mo + W) / (1 + Mo + W) + 8(\sqrt{V} - V) + 4(\sqrt{Ti} - 4Ti) + 5(\sqrt{Nb} - 8Nb) + 5(\sqrt{N} - 4N) + (\sqrt{Al} - 3Al) + 8(\sqrt{B} - 10B) / [(0.01 + 3N)(1 + 2C)] + 3(\sqrt{P} - 2P) - S + Cu \quad (3)$$

表1 淬火零件的上限尺寸

Steel Types	Quench Method	Maximum Section Size (inches)				
		Round Bar (dia)	Square Bar (thickness)	Flat Bar, Sheet, Plate, Forgings (thickness)	Open Tubes (wall) 	Closed Tubes (wall)
1065, 1070, 1095, 4037	Oil	.25	.20	.17	.13	.08
4130, 8620 	Oil	.25 (.40)	.20 (.32)	.17 (.27)	.13 (.20)	.08 (.13)
	Manemper	.19	.15	.13	.10	.06
	Water (See 8.6.3e.)	.80	.64	.53	.40	.27
4135, 8735	Oil	.40	.32	.27	.20	.13
	Manemper	.30	.24	.20	.15	.10
4137, 8740	Oil	.70	.56	.47	.35	.23
	Manemper	.52	.42	.35	.26	.17
52100, 6150	Oil	.70	.56	.47	.35	.23
4140	Oil	1.00	.80	.67	.50	.33
	Manemper	.75	.60	.50	.38	.25
4330M, 4335M	Oil	3.50	2.80	2.33	1.75	1.17
	Manemper	2.63	2.10	1.75	1.31	.88
4340	Oil	3.10	2.48	2.07	1.55	1.03
	Manemper	2.33	1.86	1.55	1.16	.77
Mn-Si-Ni D6AC HS-220	Oil	4.00	3.20	2.67	2.00	1.33
	Manemper	3.00	2.40	2.00	1.50	1.00
4340M	Oil	4.00	3.20	2.67	2.00	1.33
	Manemper	3.00	2.40	2.00	1.50	1.00
9Ni-4Co-30C, 9Ni-4Co-20C	Oil	4.00	3.20	2.67	2.00	1.33
	Manemper	3.00	2.40	2.00	1.50	1.00
5Cr-1.3Mo	Air	6.00	4.80	4.00	3.00	2.00

 Thickness in parentheses apply for strength levels below 180 ksi.
 Part length less than 3 times the hole diameter.

式中 D_{oc} ——油淬临界直径；

E_s ——半马距；

G ——晶粒度；

M ——合金化当量；

碳及各合金元素是钢中百分含量。

以4140为例，取6级晶粒度，按照式(1)~(3)的计算结果是油中临界直径为56.75mm。可表1规定4140的尺寸上限是1英寸(25.4mm)。差别的原因就在于如该标准所指出的，要求零件淬火后得到90%的马氏体，完全淬透，这与目前国内大多采用半马淬透的设计规范相比要严得多。不仅如

此，该标准还规定如采用热油淬火，零件尺寸上限要减为冷油的75%。如4140钢在冷油中淬火，其尺寸上限是1英寸(25.4mm)，在热油中淬火降为0.75英寸(19.05mm)。真空淬火时，尺寸上限也采用冷油的75%。如果工件在淬火工序时，尺寸明显大于这里的上限尺寸，则需加工到该尺寸附近再淬火，差距不超过0.125英寸(3.17mm)。

3. 将冷却介质作为控制材料特别指定

下面英文部分为标准指定使用的淬火冷却介质。

好富顿的冷态淬火油Houghton Quench K 和 Houghton No 2；分级淬火油 Mar-temp 2525；聚

5

MATERIALS CONTROL

The following materials may be used in heat treating operations.

- a. Salts in accordance with MIL-S-10699, as follows:
 - (1) Neutral salts with a working range of 1300 to 1650 F, Houghton Liquid Heat 1145 (E. F. Houghton Co.) or equivalent.
 - (2) Neutral salts with a working range of 1350 to 1650 F, Houghton Liquid Heat 168, or equivalent.
 - (3) Neutral salts with a working range of 950 to 1650 F for use in tempering or annealing operations, Houghton Liquid Heat 810, or equivalent.
 - (4) Neutral salts with a working range of 1550 to 1950 F, Houghton Liquid Heat 1450, or equivalent.
 - (5) Neutral salts with a working range of 1650 to 2350 F for heat treating high speed tool steels, Houghton Liquid Heat 1550, or equivalent.
 - (6) Houghton Salt Bath rectifier No. 4, methyl chloride, or other suitable rectifiers as recommended by the salt manufacturer.
 - (7) Salts with a working range of 350 to 1000 F for use in tempering operations, Houghton Draw Temp 275, or equivalent.
 - (8) Salts with working range of 550 to 1100 F for use in tempering operations, Houghton Draw Temp 430, or equivalent.
- b. Houghton No. 2 Soluble Quenching Oil, Houghton Quench "K" or other low viscosity, "fast" quenching oils.
- c. AMS 3025 glycol quenchants
 - (1) Houghton Aqua Quench 251 or Aqua-Quench 364
 - (2) Loon Quenchant A, Union Carbide Corp
- d. Houghton Mar-Temp Oil No. 2525, or other manutemping oils for use in the 300 to 400 F range for interrupted quenching.
- e. Loon Series LB Type 1145-XY-24, Union Carbide Corp., or equivalent water insoluble polyalkylene glycol oil to prevent rust.
- f. Loon Series LB Type 285-Y-24, Union Carbide Corp., or equivalent oil to prevent rust.
- g. MIL-S-10699, Salt, Heat Treating.
- h. Park Chemical "AAA Quench Oil" or equivalent, for use as a vacuum furnace quench oil in the 100 to 130 F range.
- i. Park Chemical "Vacuum Quench Oil" or equivalent for use as a vacuum furnace quenching oil in the 130 to 160 F range.
- j. Argon shall meet the requirements of Compressed Gas Association (CGA) specification G-11.1, Grade E (dewpoint -76 F or below, oxygen 5 ppm or less).

合物淬火剂 Aqua Quench 251, Aqua Quench 364 以及多种淬火盐类均在指定之列。以Houghton Quench K 为例, 图1是按照ISO9950 测定的冷却曲线。IVF仪的主要发明者和ISO9550的主要起草者 Segeberg指出需要区别淬火油的冷却能力和淬硬能力, 前者是移去热量的能力, 而后者是能促使钢淬硬的能力。在大量试验的基础上, Segeberg得到淬火油淬硬能力HP的回归计算公式:

$$HP=91.5+1.34T_{vp}+10.88CR-3.85T_{cp} \quad (4)$$

式中 T_{vp} ——从膜沸腾到泡沸腾转换温度(°C);

CR ——550°C时的冷速, 即V550(°C/s);

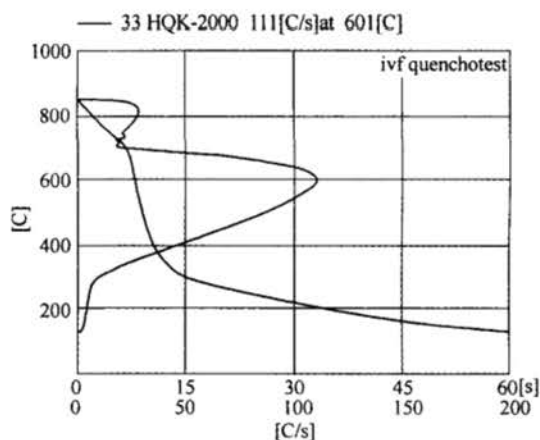


图1 IVF测量K油冷却曲线

T_{cp} ——从沸腾到对流传热的转变温度(℃)。

依据上述公式, Segeberg对多种淬火油的淬硬能力进行了计算, 计算结果如图2所示。从图可见, Houghton Quench K 在所测的油品中的淬硬能力是最高的。

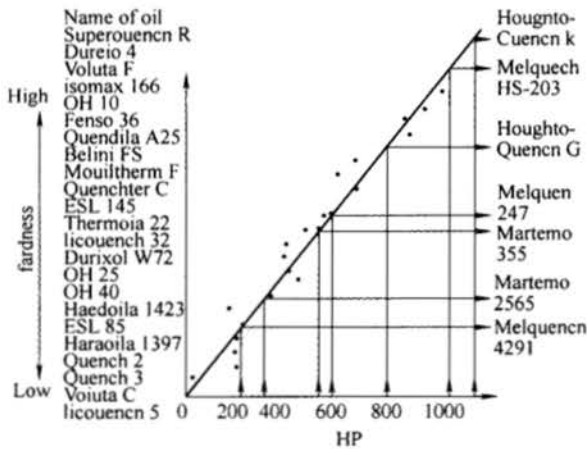


图2 不同淬火油的淬硬能力比较

BAC5617标准还规定, 水基冷却介质的使用温度一般不超过100°F (37.8℃)。对强度低于200ksi的, 工件的出油温度不高于212°F (100℃); 对于强度高于200ksi的, 出油温度要低于160°F (71℃)。

4. 根据不同强度, 规定了最低回火温度

该标准对于不同强度要求的零件的最低回火温度做出了规定, 见表2。实际回火温度大多在该最低温度以上50°F进行回火。最低回火温度的设定, 兼顾了组织和综合力学性能的要求, 避免了只满足硬度要求, 而忽视组织和其他性能要求的倾向。

该标准还制订了很多其他有启发意义的规范, 对稳定和提高热处理质量不无益处。例如淬火冷却槽的温度变化要求不超过±5°F, 对强度高于180ksi的工件需100%检查淬火硬度, 对工艺参数留存; 取样位置和取样量等也都有详细规定, 这些就不再详细介绍, 可参阅具体标准。

表 2

Steel Type (See Table XXIII for Related Specifications)	Minimum Tempering Temperature (F) for Strength Ranges Shown					Other strength ranges, as indicated below
	125-145 ksi R _e 27-33	150-170 ksi R _e 34-38	180-180 ksi R _e 36-40	180-200 ksi R _e 40-43	200-220 ksi R _e 43-46	
4130, 8630	1050	900	800	725		For 80-120 ksi, 1150 ± 25 F
4135, 8735	1100	925	825	750		
4137, 4037	1100	950	825	750		
4140, 8740	1100	1000	925	850	725	
4340	1100	1025	925	875	725	
4330M		1050	950	850	675	For 220-240 ksi (R _e 46-48), Double temper at 500 F minimum
HS-220		1050	925	825	650	
4335M		1125	1025	950		
6150		950		800	700	For Spring temper R _e 43-47, temper at 725 F to 900 F.
1065, 1070		950		775	675	
1095		950		800	700	For Spring temper R _e 40-46, temper at 700 F to 800 F.
4340	Double temper at 450 minimum for 250-280 ksi.					
4340M	Double temper at 575 for either 270-300 ksi or 275-300 ksi. The tempering facility shall be set at a temperature of 575.					
52100	Double temper at 375 minimum for Rockwell C 60-65. Subzero treatment recommended for size stability.					
Mn-Si-Ni	225-235 ksi, 600 F minimum (double temper) 230-240 ksi, 500 F minimum (double temper) 235-245 ksi, 450 F minimum (double temper)					
9Ni-4Co-20C	Double temper at 1025-1075 for 190 ksi minimum. Subzero treatment at -100 F or colder required prior to any tempering.					
9Ni-4Co-30C	Subzero treatment at -100 F or below required prior to any tempering. Double temper at 1000-1050 F to obtain a minimum hardness of R _e 46. If R _e 45 minimum is not met, re-heat treat and temper at 1000 F. The tempering facility shall be set at a temperature of 1000 F.					
5Cr-1.3Mn	1000 F		See 8.7.3			
D6AC	1050-1175 F for 195-220 ksi		See 8.8.3			

MW (20130415)